

Qualität und Quantität der bildgebenden
Röntgenstrahlung bei verschiedenen
Aufnahmespannungen und Objektdicken.
Beitrag zur Theorie der Hartstrahltechnik

von

NIKOLAUS SOULTOGIANNIS

Aus der Medizinischen Universitätsklinik Erlangen
Direktor: Prof. Dr. med. N. Henning

Qualität und Quantität der bildgebenden Röntgenstrahlung
bei verschiedenen Aufnahmespannungen und Objektdicken.

Beitrag zur Theorie der Hartstrahltechnik.

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich - Alexander - Universität
zu
Erlangen



Vorgelegt von
N i k o l a u s S o u l t o g i a n n i s
aus Thessaloniki

Dekan: Professor dr. F. H e i m

Referent: Professor Dr. N. H e n n i n g

Tag der mündlichen Prüfung: 18.12.1958

DEM ANDENKEN MEINES VATERS

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	1 - 7
II. Versuchsanordnung	7 - 12
III. Ergebnisse	12 - 24
IV. Diskussion	25 - 35
V. Zusammenfassung	35 - 36
VI. Literatur	37 - 38

I. Einleitung.

=====

Der Versuch, die Spannung bei Röntgenaufnahmen gegenüber den aus der Zeit der Ionenröhren stammenden Werten zu erhöhen, wurde bereits vor rund 30 Jahren von J a u b e r t d e B e a u j e u unternommen. Lange Zeit hindurch blieben aber dennoch die konventionellen Aufnahmespannungen bis höchstens 100 kV die Methode der Wahl. Für Lungen-Aufnahmen glaubte man sogar, möglichst noch wesentlich geringere Spannungen benützen zu müssen, um "weiche" Verschattungen nicht zu übersehen. Schon vor 20 Jahren wußte man allerdings aus praktischen Erfahrungen, daß die Annahme des "Wegstrahlens" weichteildichter Verschattungen durch hohe Aufnahmespannungen nicht den Tatsachen entsprach. Dennoch waren die physiologischen Hinderungsgründe gegen die Anwendung hoher Spannungen so groß, daß die in der Praxis gewonnenen Erkenntnisse zunächst keine grundlegende Umstellung der Aufnahmetechnik zur Folge hatten.

Erst vor rund 10 Jahren begann das allgemeine Interesse an der jetzt "Hartstrahltechnik" genannten Verwendung von Spannungen über 100 kV für Röntgenaufnahmen zuzunehmen. Diese Änderung der allgemeinen Einstellung war zu einem erheblichen Teil dadurch bedingt, daß die technischen Voraussetzungen für eine Erhöhung der Aufnahmespannung jetzt besser als früher erfüllt wurde. In der deutschen Literatur waren es zunächst die Arbeiten von B u c h h e i m, W a c h s m a n n, B r e u e r und B u c h h e i m sowie von G a j e w s k i, die sich für die Anwendung der Hartstrahltechnik in der Röntgendiagnostik einsetzten. In diesen Arbeiten wurde gezeigt, daß Spannungen über 100 kV

bei der Mehrzahl aller röntgenologischer Untersuchungsverfahren brauchbar sind, ohne daß das diagnostische Ergebnis darunter leidet. Diese Feststellung reicht jedoch nicht aus, um die Zweckmäßigkeit der Anwendung hoher Aufnahmespannungen zu begründen.

Schon in den genannten ersten Arbeiten wurde deshalb aufgrund experimenteller Untersuchungen darauf hingewiesen, daß die bereits vor Jahrzehnten empirisch festgestellte Tatsache, daß Kontraste zwischen Weichteilen und Luft bei hohen Aufnahmespannungen erhalten bleiben, auch theoretisch begründet und bewiesen werden kann. Weiterhin wurde festgestellt, daß die von Unterschieden der Ordnungszahl der im Objekt vorhandenen Elemente abhängigen Kontraste mit zunehmender Aufnahmespannung abnehmen, ein Umstand, der auch bei der Wahl der Spannung in der Strahlentherapie von Bedeutung ist. Diese beiden Tatsachen, d. h. also das Erhaltenbleiben der Dichtekontraste und das Kleinerwerden der Ordnungszahlkontraste, geben eine gute Begründung für die Anwendung der Hartstrahltechnik aus röntgenphotographischen Gesichtspunkten bei einer Reihe diagnostischer Fragestellungen.

Als wesentlich wichtigerer Effekt einer härteren Röntgenstrahlung wurde aber bereits zu Anfang herausgestellt, daß infolge höherer Durchdringungsfähigkeit der härteren Strahlung zur Erzielung der gleichen Dosis am Film eine wesentlich geringere Eintrittsdosis am Patienten als bei weicherer Strahlung erforderlich ist. Hierüber geben bis jetzt vor allem die Untersuchungen von B u c h h e i m erschöpfende Auskunft. In der ausländischen Literatur hat sich u. a. M a t t s o n mit diesem Problem beschäftigt, der zu den gleichen

Ergebnissen wie B u c h h e i m kommt. Man schloß seinerzeit aus der Verbesserung des Verhältnisses Eintrittsdosis/Austrittsdosis bei steigender Strahlenhärte, daß eine härtere Strahlung zu einer geringeren Belastung des Patienten führt. Nachdem in der Zwischenzeit der Begriff "Strahlenbelastung des Patienten" wesentlich genauer analysiert und aufgegliedert wurde, läßt sich allerdings diese Feststellung nur noch beschränkt aufrecht erhalten.

Nach den heutigen Ansichten über die Wirkung schwacher Strahlendosen spielt die Hautbelastung für die gesamte Gefährdung des Patienten in der Röntgendiagnostik nur eine untergeordnete Rolle. Wesentlich größere Bedeutung gewinnt die Strahlenbelastung der Gonaden und der blutbildenden Organe, welche letztere praktisch über den gesamten Körper des Patienten verteilt sind. Aus diesem Grund kommen heute als Maßstäbe für die Strahlengefährdung eines diagnostisch strahlenexponierten Patienten nur noch die Gonadendosis und - als ungefähres Maß für die Belastung der blutbildenden Organe - die Gesamtvolumendosis (C e n und F r i k) bzw. Ganzkörperintegraldosis (C o u r t B r o w n) in Frage. Während die Gesamtvolumendosis sich bei Erhöhung der Aufnahmespannung immer in dem gleichen Sinn, wenn auch nicht immer in dem gleichen Umfang, ändert wie die Hautdosis, hängt das Verhalten der Gonadendosis bei Änderung der Strahlenqualität wesentlich von der Entfernung der Gonaden vom bestrahlten Hautfeld ab. Insofern ist vom Standpunkt der Volumenbelastung des Patienten in jedem Fall eine Schonung des Patienten durch die Hartstrahltechnik zu erwarten, während andererseits die Messungen von C e n und F r i k, O e s e r, M e h l und S c h ä f e r sowie von K l o t z und S e e l e n t a g gezeigt haben, daß unter Umständen, insbe-

sondere bei der Untersuchung gonadenferner Organe, beim Übergang zur Hartstrahltechnik eine Erhöhung der Gonadendosis auftreten kann. Infolgedessen kann die Schonung des Patienten nur bedingt und nur für einzelne Untersuchungsobjekte als Argument für die Anwendung der Hartstrahltechnik herangezogen werden.

Ein weiterer, bereits früh erkannter Vorteil der Hartstrahltechnik ist daran zu sehen, daß durch die obengenannte Verringerung des Verhältnisses Eintrittsdosis / Austrittsdosis im allgemeinen bei Anwendung höherer Aufnahmespannungen auch die für eine bestimmte Bildschwärzung erforderlichen Belichtungszeiten geringer werden, wenn die Apparateleistung mit zunehmender Spannung nicht zu stark absinkt. Diese Verkürzung der Belichtungszeiten führt zu einer Verringerung der Bewegungsunschärfe. Sie spielt also insbes. bei solchen Organen eine Rolle, bei denen wir während der Untersuchung eine Bewegung nicht verhindern können, bei denen wir das Ausmaß der Bewegungen nicht von vornherein kennen, und bei denen unter Umständen die Bewegungsunschärfe pathologische Veränderungen vortäuschen oder überdecken kann. In der Praxis läßt sich eine Verkürzung der Belichtungszeit durch Hartstrahltechnik insbes. bei relativ dicken Untersuchungsobjekten, also vor allem am Abdomen, erreichen. Bei stärker strahlendurchlässigen Objekten, wie zum Beispiel den Thoraxorganen, ist der Unterschied in der Belichtungszeit zwischen Weich- und Hartstrahltechnik unter der Voraussetzung der Anwendung von Hochleistungsapparaten nur gering.

Dennoch hat die Hartstrahltechnik gerade für die Untersuchung der Thoraxorgane in den letzten Jahren besondere praktische Bedeutung erlangt, insbesondere aufgrund der Arbeiten von F r i k

und Mitarbeitern. Diese Arbeitsgruppe hat unter anderem gezeigt, daß es bei Anwendung von Aufnahmespannungen über 100 kV gelingt, auch mit feinzeichnenden Folien genügend kurze Aufnahmezeiten zu erreichen, sodaß sich die Lungenzeichnung wesentlich klarer erkennen läßt. Als wesentlichsten Vorteil der Hartstrahlaufnahmen der Thoraxorgane muß man aber nach Angabe der genannten Autoren ansehen, daß der "Bildcharakter" bei Spannungen über 100 kV anders als bei niederen Aufnahmespannungen wird. F r i k , G a j e w s k i , W a c h s m a n n und B u c h h e i m haben den Begriff der Änderung des Bildcharakters so definiert, daß "im nutzbaren Bildumfang des Filmes bei Hartstrahlaufnahmen ein wesentlich größerer Objektumfang als bei Weichstrahlaufnahmen untergebracht werden kann". Diese Feststellung besagt, daß es durch die Anwendung der Hartstrahltechnik gelingt, auch in relativ wenig strahlendurchlässigen Objektteilen noch Einzelheiten, d.h. geringe Objektkontraste, zu erkennen sind, ohne daß in stärker strahlendurchlässigen Objektteilen eine störende Überbelichtung eintritt. Aus diesem Grund ist die Hartstrahlaufnahme der Thoraxorgane, wie F r i k , B u c h h e i m , und H e s s e betonten, besonders als Routineaufnahme, d.h. also als erste Suchaufnahme, geeignet.

Die Änderung des Bildcharakters konnte bis jetzt nur durch die Darstellung von Bildbeispielen bewiesen werden, ohne daß eine ausreichende theoretische Begründung für diesen Effekt vorliegt. Zweifellos spielt die zunehmende Durchdringungsfähigkeit härterer Strahlung auch für die Änderung des Bildcharakters eine wesentliche Rolle. Sie genügt aber nicht zur vollständigen theoretischen Erklärung der empirischen Feststellung. Es

müssen deshalb systematisch Reihen weiterer Messungen unternommen werden, um stichhaltige experimentelle Unterlagen für die praktisch so bedeutsamen photographischen Eigenschaften der Hartstrahlaufnahmen zu gewinnen.

Im Folgenden soll über einige Untersuchungen berichtet werden, die diesem Zweck dienen. Sie sollen weiterhin ganz allgemein die dosimetrischen Grundlagen für die Verwendung hoher Aufnahmepotentialen vervollständigen und auch über die Bedeutung der Vorfilterung in der Hartstrahltechnik Auskunft geben. Wir haben es uns zur Aufgabe gestellt, die bei verschiedenen Strahlenqualitäten und verschiedenen Objektstärken aus dem Objekt austretende, d.h. also zur Filmschwärzung zur Verfügung stehende Strahlung näher zu analysieren. Diese Analyse muß sich sowohl auf die Quantität, d.h. also die Dosis, als aber auch auf die Qualität der aus dem Objekt austretenden Strahlung erstrecken. Einzelne ähnliche Messungen finden sich bereits verstreut in der Literatur, so z.B. bei F r i k und B u c h h e i m sowie bei S c h a a l. Keine der genannten Messreihen erstreckt sich aber bis jetzt auf den gesamten Umfang der praktisch angewendeten Strahlenqualitäten und aller in Frage kommenden Objektdicken. Qualitätsmessungen der Austrittsstrahlung wurden zudem bis jetzt immer nur im reinen Streustrahlbereich vorgenommen.

Weiterhin sind bis jetzt noch in keinem Falle Quantität und Qualität mit der gleichen Messanordnung gleichzeitig bestimmt worden. Eine solche einheitliche Messanordnung ist aber erforderlich, um zu wirklich sicheren Ergebnissen zu gelangen. Wenn man den Aufwand für die Messungen in einem praktisch tragbaren Rahmen halten will, muß man für die Bestimmung der Qualität der austretenden Strah-

lung auf die Messung von Halbwertschichten zurückgreifen. Das bedeutet, daß auch die Qualitätsmessung praktisch über eine Dosismessung erfolgt. Infolgedessen ist es wünschenswert, daß die verwendeten Messorgane die Forderung nach Wellenlängenunabhängigkeit möglichst weitgehend erfüllen, obgleich man sich darüber klar sein muß, daß eine absolut wellenlängenunabhängige Messung im allgemeinen selbst mit Ionisationskammern nicht erreicht werden kann. Gerade dieser letztgenannte Umstand scheint uns ein besonders wichtiges Argument für die Verwendung der gleichen Messanordnung bei Messung von Qualität und Quantität der Strahlung.

II. Versuchsanordnung.

=====

1. Röntgeneinrichtung.

Alle Messungen wurden an einem Tiefentherapieapparat "Stabilipan" der Siemens-Reiniger-Werke AG Erlangen ausgeführt. Dieser Apparat liefert kontinuierlich konstante Gleichspannung bis 200 kV. Es wurden Stromstärken zwischen 4 u. 20 mA benutzt. Als Strahlenerzeuger diente eine übliche Tiefentherapieröhre in Ölhaube mit Therapieblende der Siemens-Reiniger-Werke AG Erlangen, die an einem Pendelgerät nach Prof. K o h l e r aufgehängt war.

2. Phantom.

Als Phantom diente ein Vinidur-Kasten mit 4mm Wandstärke, 40 x 40 cm Bodenfläche und 30 cm Höhe. Dieses Phantom wurde vertikal von der Wasseroberfläche her durchstrahlt. Die verschiedenen interessierenden Objektdicken wurden durch un-

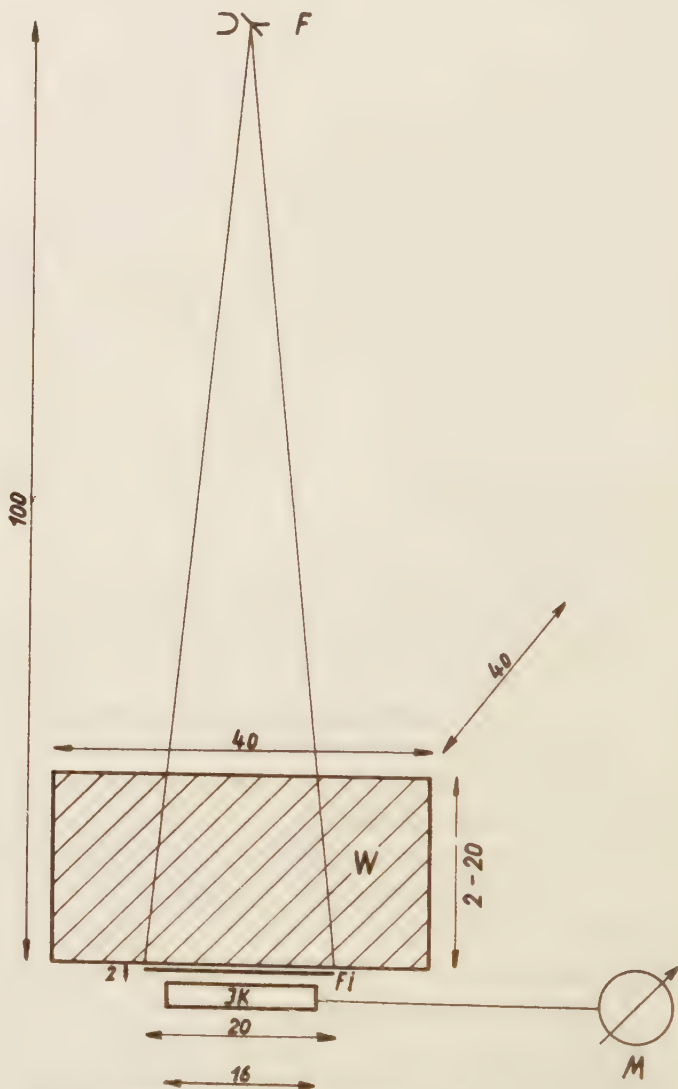


Abb.1. Schema der Versuchsanordnung für Dosis- und Halbwertschichtmessungen (Vers. Anordn. 1. bis 5.).
 F: Röhrenfokus W: Wasserphantom
 Fi: Filter für Halbwertschichtmessungen
 JK: Ionisationskammer M: Meßinstrument
 Maßangaben in cm.

terschiedliche Wasserfüllung des Phantoms hergestellt. Der Abstand zwischen dem Fokus und dem Phantomboden betrug konstant 100 cm (Abb.1). Die Feldgröße war 20 x 20 cm, gemessen am Boden des Phantoms.

3. Messeinrichtung.

Die Dosismessungen wurden mit einem Universal-dosismesser der Siemens-Reiniger-Werke AG Erlangen in Verbindung mit einer Flachionisationskammer spezieller Konstruktion ausgeführt. Es war notwendig, auf Spezialkammern zurückzugreifen, da die handelsüblichen Fingerhutkammern zu unempfindlich sind. Durch Vergrößerung des Kammervolumens gelang eine Empfindlichkeitssteigerung um rund das Hundertfache. Der Durchmesser der benutzten runden Flachionisationskammern beträgt 160 mm. Der Elektrodenabstand von 10 mm genügt bei den vorkommenden Dosisleistungen, um in dem gesamten Bereich eine Sättigung zu erzielen. Wandmaterial und Wandstärke der Ionisationskammer sind so gewählt, daß die Wellenlängenabhängigkeit die gleiche wie bei den handelsüblichen Fingerhutkammern für Tiefentherapiemessungen ist. Das bedeutet, daß bei Strahlenqualitäten unter 100 kV Erzeugerspannung eine Korrektur in gleicher Weise wie bei den Fingerhutkammern vorgenommen werden mußte. Der Korrekturfaktor ist bei der Darstellung der Messergebnisse einberechnet.

4. Anordnung zur Dosismessung.

Zur Dosismessung wurde die Ionisationskammer in 2 cm Abstand vom Phantomboden im Zentralstrahl angeordnet. Der gewählte Abstand entspricht etwa dem geringsten in der Praxis vorkommenden

Abstand zwischen Objekt und Film. Geringe Teile der weichen Streustrahlung aus dem Phantomboden werden dabei nicht mitgemessen, sind jedoch auch in der praktischen Röntgendiagnostik nicht bildwirksam.

5. Anordnung zur Messung der Strahlenqualität.

Für die Messung der Qualität der aus dem Phantom austretenden Strahlung wurde der gleiche Abstand zwischen Phantomboden und Messkammer wie bei 4. benutzt. Zur Halbwertschichtmessung dienten Al- und Cu-Filter, die direkt an dem Phantomboden angebracht wurden, sodaß also je nach Filterstärke ein wechselnder Abstand von 11 - 19,8 mm zwischen dem Filter und der Kammeroberfläche bestehend blieb.

6. Korrektur von Messfehlern.

Durch den geringen Abstand zwischen Filter und Ionisationskammer entsteht bei den Halbwertschichtmessungen ein gewisser Fehler, da die von dem Filter ausgehende Streustrahlung mitgemessen wird. Um diesen Messfehler auszuschalten, wurden durch Vergleichsmessungen bei Primärstrahlung experimentell die erforderlichen Korrekturfaktoren ermittelt. Diese Messungen wurden so ausgeführt, daß die Halbwertschicht der Primärstrahlung einmal bei direkt auf die Ionisationskammer aufgelegten Filtern ("Filterabstand 0 cm") und einmal bei 60 cm Abstand zwischen Filter und Ionisationskammer ("Filterabstand 60 cm") gemessen wurde. Die ermittelten Korrekturfaktoren finden sich in Tabelle 1. Sie sind in der Darstellung der Messergebnisse einberechnet.

Tabelle 1

Korrekturfaktoren für die Messung der Halbwertschicht

Halbwertschicht

Primärstrahlung	Filterabstand	Filterabstand	Korr. Faktor
	60 cm	0 cm	
50 kV	2,2 Al	2,6 Al	0,85
90 kV	4 Al	5,9 Al	0,8
90 kV Zus.-	7 Al	10 Al	0,7
90 kV Filter	0,16 Cu	0,19 Cu	0,85
120 kV	0,19 Cu	0,23 Cu	0,85
150 kV	0,28 Cu	0,33 Cu	0,85
180 kV Zus.-	0,55 Cu	0,7 Cu	0,8
180 kV Filter	0,35 Cu	0,65 Cu	0,8

Weiter wird durch Auflegen von planparallelen Filtern dadurch ein weiterer Fehler begangen, daß bei Schrägeinfall der Strahlung (Streustrahlung) die tatsächlich wirksame Filterdicke größer als die Blechstärke der Filter ist. Die gemessene Halbwertschicht liegt also etwas tiefer als die tatsächliche Halbwertschicht. Dieser Fehler wird umso größer, je größer der Anteil der schräg auftreffenden Streustrahlung an der Gesamtstrahlung ist. In der Darstellung der Messergebnisse ist auch dieser Fehler, der bei 90 kV auf 5 % und bei 200 kV auf 15 % geschätzt wird, berücksichtigt.

7. Qualitätsmessung des Primärstrahlenanteils.

Um die Halbwertschicht der aus dem Objekt austretenden Primärstrahlung getrennt von der Qualität der austretenden Streustrahlung bestimmen zu können, wurden weitere Halbwertschichtmessungen bei großem Abstand zwischen Phantomboden und Ionisationskammer vorgenommen. Aus technischen Gründen konnte der Abstand der Ionisationskammer vom Phantom nicht auf

mehr als 60 cm erhöht werden, jedoch genügt dieser Abstand, um den Großteil der Streustrahlung unwirksam zu machen.

III. Ergebnisse.

=====

1. Messung der Austrittsdosisleistung hinter verschiedenen dicken Wasserschichten in Abhängigkeit von der Primärstrahlenqualität.

Die Messungen der Austrittsdosisleistung wurden zunächst bei Eigenfilterung der Röhre ($\sim$ 2mm Al-Gleichwert) mit folgenden Spannungen vorgenommen:

50 kV
90 kV
120 kV
150 kV
200 kV.

Zusätzlich wurde die Dosisleistung noch bei stärker gefilterter Strahlung gemessen:

90 kV 4 mm Al Gesamtfilterung
120 kV 2 mm Al + 0,15 mm Cu "
150 kV 2 mm Al + 0,2 mm Cu "
200 kV 2 mm Al + 0,25 mm Cu "

Die Zusatzfilterungen unter dem Gesichtspunkt ausgewählt, eine gewisse Homogenisierung der Strahlung ohne zu starke Herabsetzung der Dosisleistung zu erzielen. Die Forderungen der "Normalstrahlungen" (W a c h s m a n n) werden mit den benutzten Filtern noch nicht erfüllt. Diese lassen sich nicht einhalten, ohne die Dosisleistung gegenüber unseren Bedingungen noch um weitere 50 - 65 % zu verringern. Abb. 2 zeigt den Verlauf der Dosisleistung bei den verschiedenen benutzten Strahlenqualitäten in Abhän-

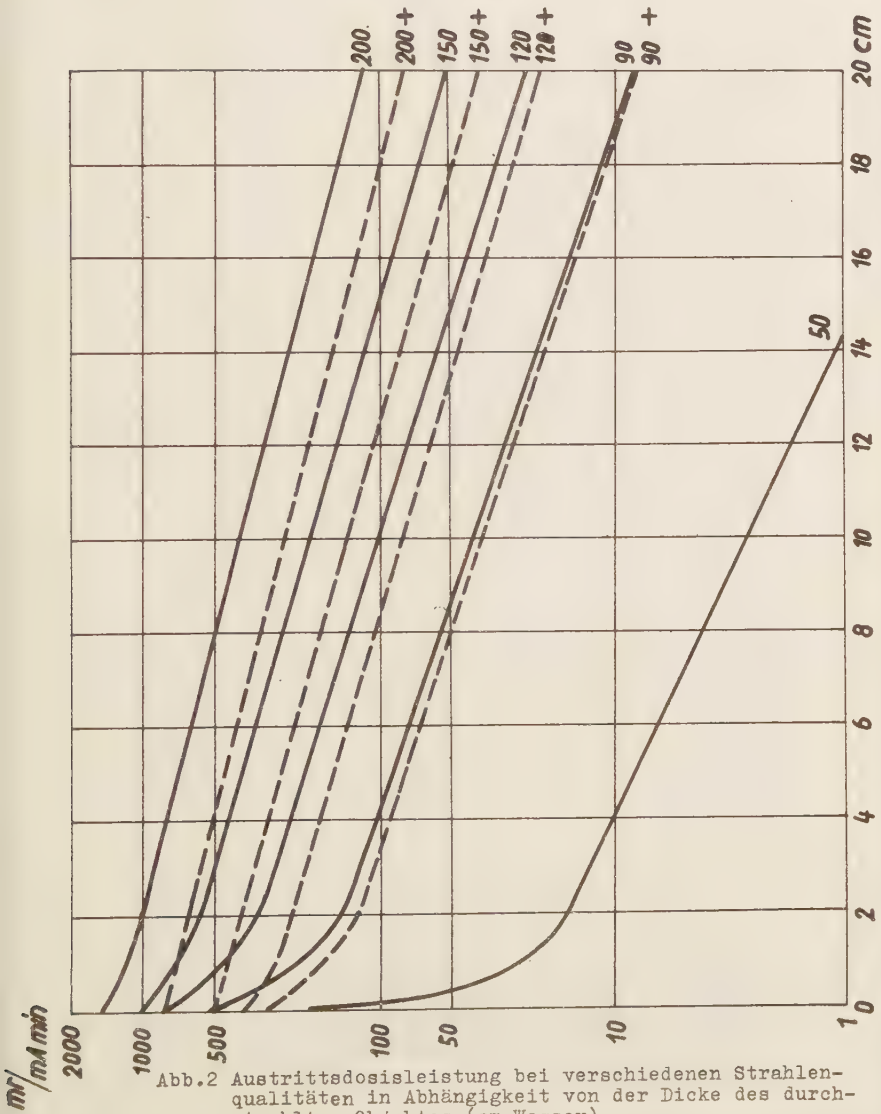


Abb.2 Austrittsdosisleistung bei verschiedenen Strahlenqualitäten in Abhängigkeit von der Dicke des durchstrahlten Objektes (cm Wasser).
—— 50 - 200: 50 - 200 kV und Röhreneigenfilterung
----- 90+ - 200+: 90-200 kV mit Zusatzfilter wie Meßerg. 1

gigkeit von der durchstrahlten Schichtdicke. Es sei hier nochmals bemerkt, daß es sich immer um Messung der Austrittsdosisleistung hinter verschiedenen dicken Wasserschichten, also nicht um Messungen der Tiefendosis in verschiedenen Höhen innerhalb eines dickeren Phantoms handelt. Man erkennt, daß, wie zu erwarten war, der größte Dosisabfall gegenüber der Dosis ohne Objekt bereits nach 2 cm Wasserschicht erfolgt. Der Dosisleistungsabfall wird mit zunehmender Strahlenhärte geringer, ebenso auch bei zunehmender Phantomdicke. Insgesamt resultiert also mit zunehmender Spannung ein immer flacherer Verlauf der Dosisleistungskurven der Austrittsstrahlung in Abhängigkeit von der Schichtdicke. Bei den am stärksten gefilterten Strahlungen (150 kV, 2 mm Al und 0,2 mm Cu Gesamtfilterung sowie 200 kV, 2 mm Al und 0,25 mm Cu Gesamtfilterung) ist der Dosisleistungsabfall zwischen der Dosis ohne Objekt und der Dosis hinter 2 cm Wasser nicht mehr nennenswert größer als bei der gleichen numerischen Differenz der Wassertiefe bei größeren Objektdicken.

Bei gleicher Röhrenleistung liegt über 100 kV auch für große Objektdicken die Austrittsdosis mit stark gefilterter Strahlung immer noch unter der Austrittsdosis bei schwächer gefilterter Strahlung. Die Differenz der Austrittsdosisleistungen hinter 20 ccm Wasser zwischen der Strahlung mit Eigenfilterung und der Strahlung mit der benutzten stärkeren Zusatzfilterung beträgt selbst bei 150 und 200 kV noch 20 %.

Abb. 3 zeigt die gleichen Messergebnisse (allerdings nur für die nicht zusätzlich gefilterten Strahlungen) in anderer Darstellung, sodaß aus der Kurvenschar die Differenz der Austrittsdosen bei verschiedenen Objektstärken in Abhängigkeit von der Strahlenqualität zu erkennen ist. Bei dieser

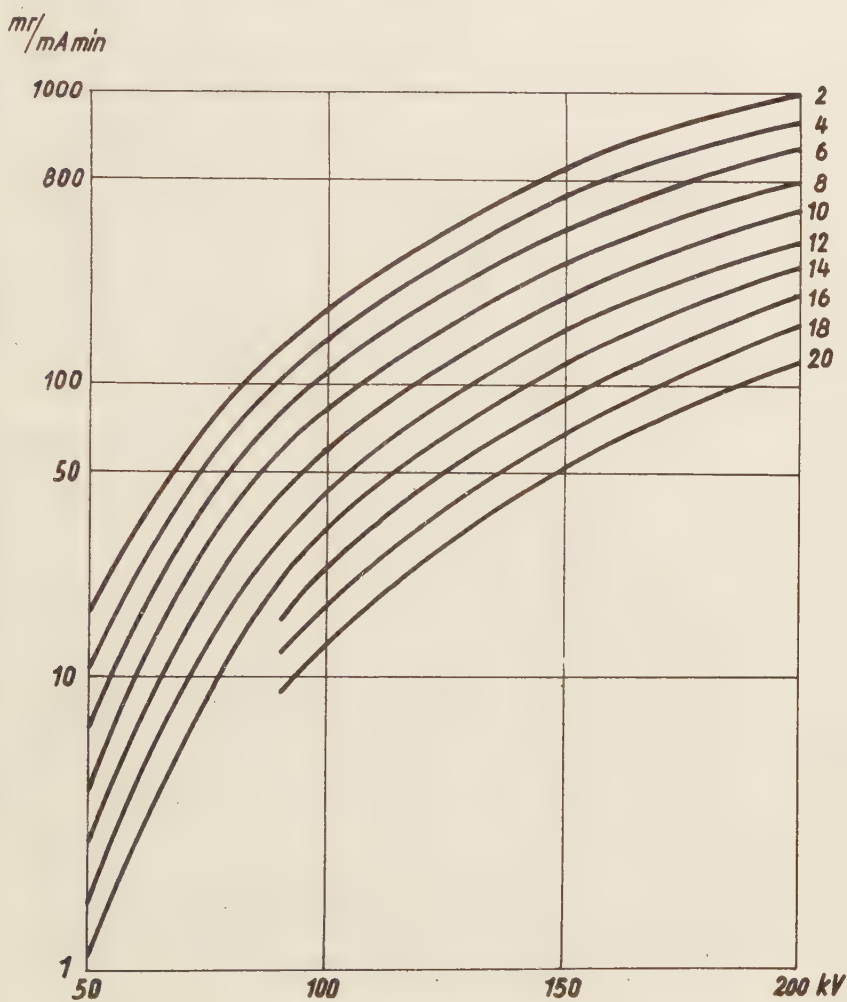


Abb.3 Austrittsdosisleistung hinter verschieden dicken Objektschichten(2-20: 2-20 cm Wasser). bei Spannungen von 50-200 kV und Röhreneigenfilterung.

Darstellung, die in noch engerer Beziehung zu den praktischen Verhältnissen am Röntgenbild, d. h. zu der Abbildung von Strahlungskontrasten, steht, tritt der unterschiedliche Verlauf der Dosisleistungskurven weniger deutlich als in Abb. 2 hervor. Man kann praktisch sagen, daß die Kurvenscharen nur unter 100 kV nennenswert divergieren, während sie bei höheren Aufnahmespannungen für die verschiedenen Objektdicken praktisch parallel verlaufen. Tabelle 2 gibt die Austrittsdosis hinter den verschiedenen Objektdicken in % der Austrittsdosis bei Objektdicke 0 für alle benutzten Strahlenqualitäten an. Ebenso wie die Abb. 2 und 3 zeigt die Tabelle 2 nur die Schwächung der Strahlung durch verschieden dicke gewebsäquivalente Objekte an, jedoch nicht das Verhältnis der Eintrittsdosis am Objekt zur Austrittsdosis bei gleichbleibendem Fokus-Film-Abstand.

Hierüber gibt Abb. 4 Auskunft, die das Verhältnis Eintrittsdosis/Austrittsdosis in Abhängigkeit von der Objektdicke zeigt. Die Neigung der Dosisleistungskurven nimmt mit zunehmender Strahlenhärte ab. Das Dosisverhältnis wird für alle Objektdicken umso günstiger, je härter die Primärstrahlung ist. Wenn man für eine bestimmte Spannung den Verlauf der Kurven bei schwach und stark gefilterter Strahlung vergleicht, so erkennt man, daß beide Kurven bei Spannungen über 100 kV fast parallel verlaufen. Durch stärkere Filterung läßt sich oft das gleiche Dosisverhältnis mit niedrigerer Spannung erreichen, wie bei schwächer gefilterter Strahlung mit höherer Spannung. Die Kurvenneigung wird aber vorwiegend durch die Spannung bestimmt.

2. Messung der Halbwertschicht hinter verschieden dicken Wasserschichten in Abhängigkeit von der Primärstrahlenqualität.

Die Halbwertschichtmessungen wurden bei den

Tabelle 2

Austrittsdosis bei verschiedenen Objektdicken im Verhältnis zur Dosis ohne Phantom.

Röhrenspannung kV	Eigenfilterung	% der Austrittsdosis bei Objektdicke 0: Wassertiefe :		
		5 cm	10 cm	20 cm
50	2 Al	4	1,3	-
90	2 Al	18	8	1,6
120	2 Al	25	12,5	2,8
150	2 Al	40	20	5
200	2 Al	48	25	6,5
90	4 Al	25	12	2,8
120	2 Al+0,15 Cu	42	22	5,2
150	2 Al+0,2 Cu	50	30	8
200	2 Al+0,25 Cu	60	40	11

Tabelle 3

Halbwertschicht der Primärstrahlungen.

Röhrenspannung kV	Gesamtfilter	HWS
50	2 Al	1,5 Al
90	2 Al	2,7 Al = 0,1 Cu
120	2 Al	0,16 Cu
150	2 Al	0,23 Cu
200	2 Al	0,3 Cu
90	4 Al	3,7 Al = 0,15 Cu
120	2 Al+0,15 Cu	0,35 Cu
150	2 Al+0,2 Cu	0,55 Cu
200	2 Al+0,25 Cu	0,9 Cu

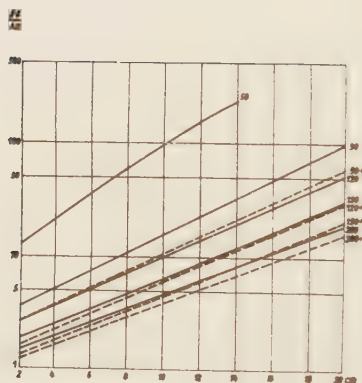


Abb.4. Verhältnis der Eintrittsdosis zur Austrittsdosis bei verschiedenen Strahlenqualitäten in Abhängigkeit von der Dicke des durchstrahlten Objektes.
 — 50-200:50-200 kV, Eigenfilt.
 ---- 90+ -200+:90-200 kV, Zusatzfilter wie Meßerg.1.

gleichen Primärstrahlenqualitäten vorgenommen wie die Messungen der Austrittsdosisleistung. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Halbwertschicht der eingestrahnten Primärstrahlungen. Abb. 5 zeigt den Verlauf der Qualität der Austrittsstrahlung für die verschiedenen benutzten Strahlenqualitäten mit Eigenfilterung der Röhre. Sie zeigt, daß die Halbwertschicht mit zunehmender Röhrenspannung bei geringen Wassertiefen stark und mit zunehmender Wassertiefe immer weniger ansteigt. Betrachtet man die Änderung der Qualität der Austrittsstrahlung in Abhängigkeit von der Objektdicke, so kann man feststellen, daß bei 200 kV und Eigenfilterung z.B. bereits von 4 cm Objektdicke an praktisch keine Änderung der Qualität der Austrittsstrahlung mehr erfolgt. Abb. 6 zeigt in gleicher Darstellung wie Abb. 5 den Verlauf der Halbwertschicht der Austrittsstrahlung für die noch stärker gefilterten Primärstrahlungen. Hier läßt sich erkennen, daß bereits bei stärkerer Filterung der Strahlung mit 120 kV Erzeugerspannung praktisch keine Zunahme der Härte der Austrittsstrahlung mit steigender Objektdicke mehr erfolgt. Bei noch stärkerer Filterung sinkt die Halbwertschicht der Austrittsstrahlung mit zunehmender Objektdicke sogar erheblich ab.

3. Messung der Halbwertschicht des Primärstrahlenanteils der Austrittsstrahlung bei verschiedener Wassertiefe.

Diese Halbwertschichtmessungen wurden nach Versuchsanordnung Nr. 7 mit allen bei den übrigen Messungen benutzten Strahlenqualitäten ausgeführt. In Abb. 7 - 15 sind die Ergebnisse dieser Messungen jeweils für eine der benutzten Primärstrahlenqualitäten aufgezeichnet. Sie zeigen, daß der Primärstrahlenanteil der Austrittsstrahlung auch bei sehr harter Strahlung im Bereich der untersuchten Objektdicken mit zunehmender Wassertiefe immer

Abb.5 und 6. Halbwertschicht der aus dem Objekt austretenden Strahlung bei verschiedenen Aufnahmepotentialen in Abhängigkeit von der Dicke des durchstrahlten Objektes.

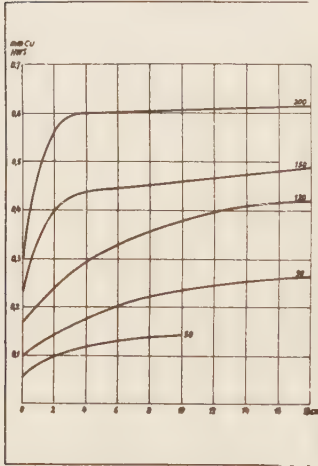


Abb.5. 50 - 200 kV, Röhreneigenfilterung.

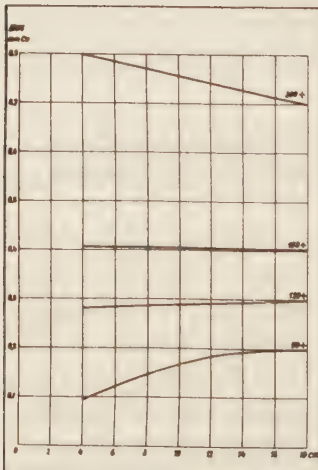


Abb.6. 90 - 200 kV mit Zusatzfiltern wie in Meßberg.1.

Abb.7 - 15. Halbwertschicht der gesamten aus dem Objekt austretenden Strahlung (---) und des Primärstrahlenanteils dieser Strahlung (—) in Abhängigkeit von der Dicke des durchstrahlten Objektes (Wasser):

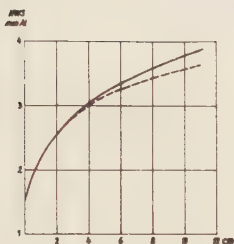


Abb.7. 50 kV,
Eigenfilterung.

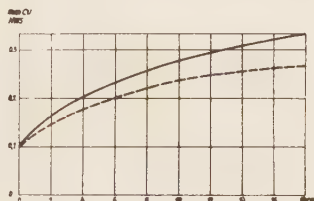


Abb.8. 90 kV,
Eigenfilterung.

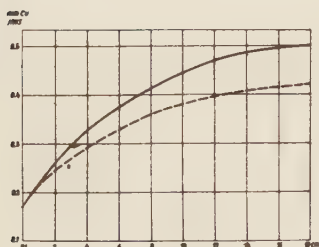


Abb.9. 120 kV,
Eigenfilterung.

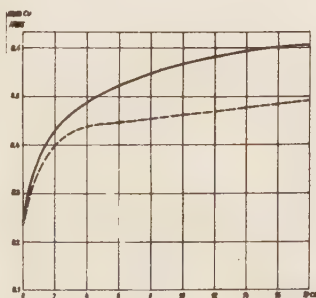


Abb.10. 150 kV,
Eigenfilterung.

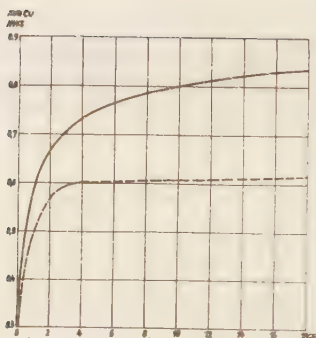


Abb.11. 200 kV,
Eigenfilterung.

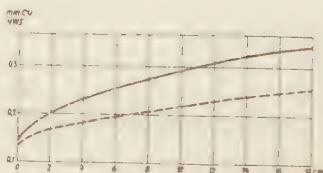


Abb.12. 90 kV, Eigenfilt.
und 2 mm Al Zusatzfilter.

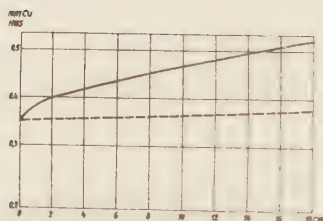


Abb.13. 120 kV, Eigen-
filt. u. 0,15 mm Cu Zus.

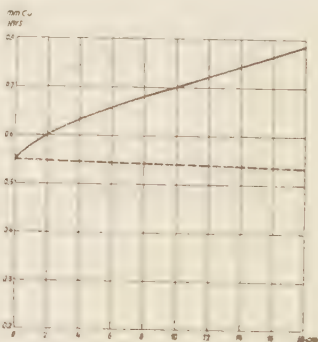


Abb.14. 150 kV, Eigenfilt.
und 0,2 mm Cu Zusatzf.

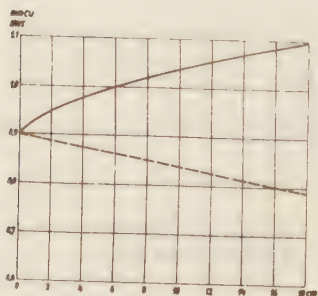


Abb.15. 200 kV, Eigen-
filt. u. 0,25 mm Cu Zus.

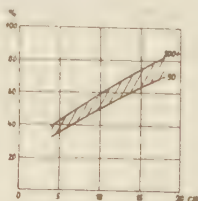


Abb.16. Anteil der Streu-
strahlung an der bild-
gebenden Röntgenstrahlung
bei den geom. Bed. d. Abb. 1
und versch. Strahlenqual.

noch deutlich, zum Teil sogar sehr erheblich, ansteigt. In den gleichen Abbildungen sind noch einmal die Halbwertschichtkurven der gesamten Austrittsstrahlung aus Abb. 5 und 6 eingezeichnet. Der Vergleich des Verlaufs beider jeweils korrespondierender Kurven zeigt, daß der geringer werdende Anstieg bzw. sogar der Abfall der Halbwertschicht der Gesamtstrahlung mit zunehmender Objektdicke auf die Qualitätsänderung der Streustrahlung zurückzuführen ist.

4. Ermittlung der Halbwertschicht der Streustrahlung aus den Messergebnissen zu 2. und 3.

Unter Berücksichtigung des prozentualen Anteils der Streustrahlung an der Gesamtstrahlung muß sich aus den Kurven der Abbildungen 7 - 15 das Verhalten der Halbwertschicht des Streustrahlenanteils der Austrittsstrahlung in Abhängigkeit von der Objektdicke errechnen lassen. Abb. 16 zeigt aufgrund der Angaben von G a j e w s k i und B u c h h e i m sowie nach eigenen ergänzenden Messungen den prozentualen Streustrahlenanteil bei verschiedenen interessierenden Untersuchungsbedingungen. Unter Benutzung dieser Kurven sind die Halbwertschichten der reinen Streustrahlung für alle benutzten Primärstrahlenqualitäten in den Abb. 17 und 18 dargestellt. Da den Kurven dieser beiden Abbildungen Rechenexperimente und Messvorgänge mit verschiedenen nicht vollständig abzusehenden Fehlerquellen zugrundeliegen, geben die Abb. 17 und 18 nur einen Anhalt für die Änderung der Streustrahlenqualität mit der Qualität der Primärstrahlung und der Objektdicke, jedoch keine sicheren Absolutwerte für die Halbwertschichten der Streustrahlung.

Abb.17 und 18. Aus den Meßergebnissen errechnete Halbwertschichten des Streustrahlenanteils der Austrittsstrahlung in Abhängigkeit von der Dicke der durchstrahlten Wasserschicht.

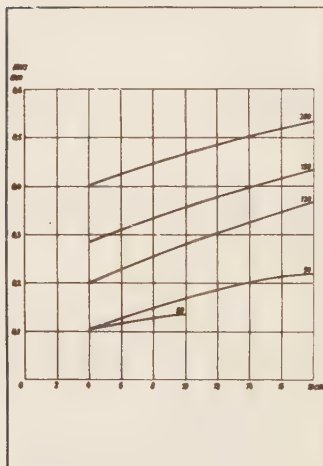


Abb.17. 50 - 200 kV
Eigenfilterung.

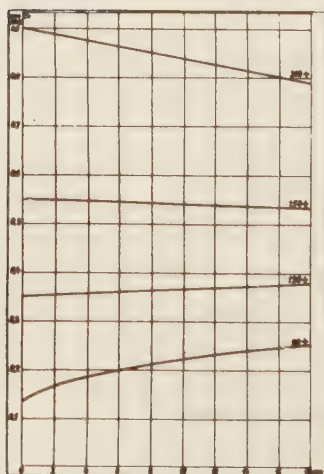


Abb.18. 90 - 200 kV mit
Zusatzfiltern wie in
Meßergebnissen 1.

IV. Diskussion.

=====

Mit den vorstehend beschriebenen Untersuchungen wurde versucht, einen möglichst großen Teil derjenigen physikalischen Grundlagen für die Abb. mit Röntgenstrahlen zu erfassen, die die aus dem Objekt austretende Strahlung betreffen. Nicht berücksichtigt wurden dagegen die geometrischen Bedingungen sowie die Anordnung verschieden stark schwächender Objektelemente in einem inhomogenen Objekt. Es können also z.B. keine Aussagen über die Abhängigkeit der Kontrastveränderung durch ungerichtete Streustrahlung von der Aufnahmespannung gemacht werden. Hierüber geben vorwiegend die Untersuchungen von S p i e g l e r Auskunft, die allerdings nur einen kleineren Teil der heute praktisch benutzten Strahlenqualitäten umfassen.

Die in Abb. 2 und 3 dargestellten Ergebnisse der Messungen der Austrittsdosisleistungen bestätigen und ergänzen die Messergebnisse von F r i k und B u c h h e i m. Die Abnahme der Neigung der Dosisleistungskurven mit zunehmender Spannung, wie sie aus Abb. 2 ersichtlich ist, läßt sich - in Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen - dahingehend interpretieren, daß der Belichtungsspielraum bei der Hartstrahltechnik größer wird als bei der Benutzung niedriger Aufnahmespannungen. Man könnte daraus aber auch entnehmen, daß auch bei der Darstellung von Weichteil- Luft- Kontrasten, also Dichtekontrasten, eine nennenswerte Verschlechterung bei zunehmender Aufnahmespannung eintritt. Abb. 3, die eine bisher noch nicht geübte Darstellungsart der Dosisverhältnisse bei verschiedenen Objektdicken und Spannungen zeigt, läßt indessen erkennen, daß die Strahlungskontraste zwischen verschiedenen dicken Objekten in dem untersuchten Spannungsbereich und

und im Bereich der praktisch interessierenden Objektstärken bis 20 cm nicht so stark beeinflußt werden, daß die Kurvenschar in Richtung auf die höheren Aufnahmespannungen sichtbar konvergiert. Das entspricht auch den praktischen Erfahrungen bei Hartstrahl-aufnahmen, auf denen Kontraste zwischen Weichteilen und Luft nicht schlechter als mit der Weichstrahltechnik abgebildet werden.

Beachtenswert ist in Abb. 2 auch der Vergleich des Kurvenverlaufes zwischen schwächer und stärker gefilterter Strahlung mit gleicher Erzeugerspannung. Selbstverständlich liegen die Austrittsdosisleistungen bei stärkerer Filterung und gleicher Spannung, gleiche Röhrenleistung vorausgesetzt, immer niedriger als bei schwächerer Filterung. Ein unterschiedlicher Verlauf der Kurven bei Änderung der Objektdicke läßt sich in nennenswertem Umfang nur für Objektdicken bis 2 cm feststellen, also in einem Bereich, in dem die Schwächung im Objekt noch relativ klein ist, sodaß auch die weicheren Anteile der schwach gefilterten Strahlung noch aus dem Objekt austreten können. Selbst bei sehr großen Objektstärken konvergieren die zueinander gehörenden Kurven verschieden stark gefilterter Strahlungen nur bei Spannungen unter 100 kV soweit, daß die Austrittsdosisleistungen hinter 20 cm Wasser annähernd gleich werden. Auch bei dicken Objekten beeinflußt also eine Zusatzfilterung immer noch spürbar die Austrittsdosis.

Die Bedeutung der Filterung der Strahlung wird bei Betrachtung der Abb. 4 noch deutlicher, die nicht wie die Abb. 2 und 3 von dem Verhältnis der Austrittsdosisleistungen bei verschiedenen Objektstärken ausgeht, sondern das Verhältnis Eintrittsdosis / Austrittsdosis in Abhängigkeit von der Objektdicke bei verschiedenen Strahlenqualitäten darstellt. Es muß allerdings davor gewarnt werden, das

Verhältnis Eintrittsdosis / Austrittsdosis als ausschließliches Maß für die Strahlenbelastung des Patienten anzusehen, wie schon in der Einleitung erwähnt wurde. Man sollte vielmehr die in Abb. 4 gegebene Darstellung in erster Linie als Maßstab für die unterschiedliche Durchdringungsfähigkeit verschiedener Strahlenqualitäten betrachten. Eine Erhöhung der Durchdringungsfähigkeit, d.h. eine Verringerung des Verhältnisses Eintrittsdosis / Austrittsdosis, ist dabei sowohl für die Gesamtvolumendosis als auch, entsprechend hohe Röhrenleistungen vorausgesetzt, für die Belichtungszeit von praktischer Bedeutung. Die bereits aus zahlreichen Veröffentlichungen bekannte Feststellung, daß das Verhältnis der Eintrittsdosis / Austrittsdosis mit zunehmender Strahlenhärte fortlaufend günstiger wird, läßt sich auch aus unserer Abb. 4 entnehmen. Während die meisten Autoren aber dabei nur von einer oder wenigen bestimmten Objekt- bzw. Phantomdicken ausgehen, wurde von uns hier vorwiegend die Änderung des Dosisverhältnisses mit der Objektdicke bei verschiedenen Spannungen untersucht. Der Kurvenverlauf mit zunehmender Objektdicke wird bei Erhöhung der Spannung immer flacher. Das bedeutet, daß der Unterschied in der Durchdringungsfähigkeit zwischen weicher und harter Strahlung sich bei dicken Objekten noch stärker als bei dünnen auswirkt.

Die Kurven für die schwach gefilterte Strahlung einer bestimmten Erzeugerspannung decken sich jeweils fast mit den Kurven der stärker gefilterten Strahlung mit der nächst niedrigen benutzten Spannung. Allerdings geht trotz der nur geringen Abweichungen aus der Abb. 4 doch deutlich hervor, daß die Änderung des Verhältnisses Eintrittsdosis / Austrittsdosis mit der Objektdicke in erster Linie von der Aufnahmespannung abhängt, während eine zusätzliche

Filterung bei gleicher Spannung das Dosisverhältnis für alle Objektdicken etwa in dem gleichen Maß herabdrückt. Es ist also nicht ganz gleichgültig, ob eine bestimmte mittlere Durchdringungsfähigkeit einer Strahlung durch Homogenisierung oder durch Benutzung einer höheren Spannung, d. h. also Verschiebung des spektralen Maximums nach der kurzwelligen Seite, erzeugt wird: Die Spannungserhöhung verbessert gerade bei dicken Objekten das Verhältnis Eintrittsdosis / Austrittsdosis stärker als die Homogenisierung. Damit wird die vielfach geäußerte Annahme, daß eine starke zusätzliche Filterung gerade bei dicken Objekten besonders sinnvoll sei, in Frage gestellt.

Die Bedeutung einer Homogenisierung der Strahlung, wie sie, zum Teil aus anderen Gründen, kürzlich von Wilhelm, Kraus und Mergler auch für niedrigere Spannungen in der Röntgendiagnostik empfohlen wurde, tritt noch mehr hinter dem Wert der Spannungserhöhung zurück, wenn man schwach und stark gefilterte Strahlungen unter dem Gesichtspunkt einer möglichst kurzen Belichtungszeit vergleicht. U. E. wird der Verkürzung der Belichtungszeiten vielerorts noch nicht die genügende Bedeutung beigemessen. Eigenbewegungen der Organe und Gefäßpulsationen ergeben bei Aufnahmen aller Organe mit Ausnahme des Skelettes eine messbare Bewegungsunschärfe, deren Verringerung eine wesentliche Aufgabe der zukünftigen Entwicklung der Röntgentechnik darstellt. Setzt man die in Abb. 4 genannten Verhältnisse Eintrittsdosis / Austrittsdosis zu den aus Abb. 2 errechenbaren Verhältnissen der Dosisleistung bei verschiedenen Spannungen und Filterungen in Beziehung, so kann man zeigen, daß bei praktisch gleicher Durchdringungsfähigkeit die stärker gefilterten Strahlungen etwas niedrigerer Erzeugerspannung immer eine nennenswert höhere Belichtungszeit erfordern als schwächer gefilterte Strahlungen mit

höherer Spannung. Die Unterschiede in der Belichtungszeit treten natürlich nur dann richtig zutage, wenn man auch die unterschiedliche Röhrenleistung bei verschiedenen Anlaufspannungen berücksichtigt.

Die relativen Belichtungszeiten bei verschiedenen Spannungen und Filterungen sind in einigen Beispielen in Tabelle 4 zusammengefaßt. Bei annähernd gleichen Verhältnissen Eintrittsdosis/Austrittsdosis macht die stärker gefilterte Strahlung niedrigerer Erzeugerspannung jeweils eine Verlängerung der Belichtung um rund 30 - 50 % erforderlich. Dieses Verhalten gilt für alle untersuchten Spannungen zwischen 100 und 200 KV sowie für dünne (10 cm) und dicke (20 cm) Objekte. Um dem Einwand zu begegnen, daß die von uns gewählten zusätzlichen Filterungen für die Röntgendiagnostik extrem hoch seien, wurden für 150 KV auch die Verhältnisse bei einer Cu-Zusatzfilterung von nur 0,1 mm errechnet. Gegenüber der Strahlung von 200 kV mit Röhreneigenfilterung wird auch hier für das gleiche Objekt eine Verlängerung der Belichtungszeit um mehr als 30 % erforderlich, wobei das Verhältnis Eintrittsdosis / Austrittsdosis gleichzeitig wesentlich schlechter ist. Gegenüber der Strahlung von 150 kV und Röhreneigenfilterung ergibt die Zusatzfilterung von 0,1 mm Cu nur eine Verlängerung der Belichtungszeit um etwa 11 % bei leichter Besserung der Durchdringungsfähigkeit der Strahlung, bezogen auf ein Objekt von 20 cm Dicke. Hier könnte man sich überlegen, ob man zugunsten des verbesserten Verhältnisses Eintrittsdosis / Austrittsdosis die geringe Belichtungszeitverlängerung in Kauf nehmen will. Belichtungsdifferenzen von etwa 20 % gelten ja im allgemeinen als nicht bildwirksam. Es muß dabei jedoch bedacht werden, daß man grundsätzlich bei jedem medizinischen Objekt von vornherein mit Fehlern

T a b e l l e 4

Belichtungszeiten bei verschiedenen Spannungen und Filterungen.

Spannung kv	Röhren- Leistung relativ	Filterung mm	Dosisleistung mr/mA min. 100 cm FKA	Objektdicke cm	Verhältnis Eintritts.D./ Austritts.D.	Belichtungszeit relativ
120	1	2 Al + 0,15 Cu	380	20	29,5	1,54
150	0,6	2 Al	1000	20	31,2	1
150	0,6	2 Al + 0,2 Cu	500	20	21	1,33
200	0,3	2 Al	1450	20	19	0,83
200	0,3	2 Al + 0,25 Cu	800	20	16	1,3
120	1	2 Al + 0,15 Cu	380	10	5,9	0,3
150	0,6	2 Al	1000	10	6,3	0,2
150	0,6	2 Al + 0,1 Cu	750	20	26	1,11
200	0,3	2 Al	1450	20	19	0,83

in der Belichtungsabschätzung rechnen muß, die mindestens 20 % betragen, oft sogar mehr. Infolgedessen können sich in der praktischen Röntgenologie Unterbelichtungen von etwa 10 %, wie sie zur Einhaltung einer gleichen Belichtungszeit bei 0,1 mm Cu-Zusatzfilterung gegenüber der Eigenfilterung bei 150 kV erforderlich wären, im Sinne einer Addition der Belichtungsfehler schon sehr störend auswirken. Wir sind der Ansicht, daß man aufgrund der in Tabelle 4 dargestellten Verhältnisse in jedem Fall, wenn man die Bewegungsunschärfe klein halten will, eine zu starke Filterung vermeiden soll und sogar in den meisten Fällen am besten mit relativ hoher Aufnahmespannung und Eigenfilterung der Röhre arbeitet. Die Erhöhung der Aufnahmespannung scheint entgegen vielfach geäußerten Ansichten doch das bessere Mittel zu sein, um das Verhältnis Eintrittsdosis / Austrittsdosis zu verbessern, als eine zusätzliche Filterung. Diese Feststellung gilt natürlich nur für Aufnahmen, während bei der Durchleuchtung andere Verhältnisse vorliegen (F r i k).

Die bisher diskutierten Messungen der Austrittsdosisleistung haben neben den eben genannten, für die Wahl der Aufnahmespannung und der Filterung praktisch wichtigen Ergebnisse keine neuen Aufschlüsse über die Ursache der Änderung des Bildcharakters von Hartstrahlaufnahmen der Thoraxorgane gegenüber Weichstrahlaufnahmen gebracht. Für dieses letztere Problem geben die Messungen der Halbwertschicht der Austrittsstrahlung wesentlich mehr Anregungen. Wenn man die Abhängigkeit der Halbwertschicht der Austrittsstrahlung von der Objektdicke in Abb. 5 betrachtet, so erkennt man für die praktisch allein interessierenden Objekte mit einer Dicke von mehr als 4 cm eine mit zunehmender Aufnahmespannung immer stärker werdende Abflachung der Halbwertschichtkurven in Abhängigkeit von der

Objektstärke. Für die stärker gefilterten Strahlungen (Abb. 6) kommt es sogar bei den härtesten untersuchten Strahlenqualitäten zu einer Abnahme der Halbwertschicht der Austrittsstrahlung mit zunehmender Objektdicke. Wahrscheinlich stellt das zunehmende Auftreten von Mehrfach-Compton-Prozessen die Ursache für dieses Phänomen dar.

Wenn man die auf die Einheit Kassette - Folie - Film fallende Strahlung aus vorwiegend Dichte-Kontraste bietenden Objekten betrachtet, so liegen also bei weicher Strahlung die Verhältnisse derart, daß neben den durch verschiedene Dicke der durchstrahlten Weichteilschichten bedingten Dosisdifferenzen auch die Durchdringungsfähigkeit der auf die Kassette fallenden Strahlung stark mit der durchstrahlten Weichteilschicht variiert. Bei Ordnungszahl-Kontrasten werden ähnliche Verhältnisse auftreten, die gesondert untersucht werden müßten. Der Begriff "Strahlungsrelief" (E. G. E. r. t) bezieht sich also auf die gleichzeitige Änderung zweier Größen, die bei Änderung der Aufnahmebedingungen nicht immer im gleichen Sinn und Umfang variieren. Man sollte deshalb besser die zwei Begriffe "Dosisrelief" und "Energierelief" bzw. "Qualitätsrelief" bilden und beide getrennt betrachten. Im Bereich der Hartstrahltechnik, insbes. bei Spannungen von 150 kV an bzw. auch schon bei stärker gefilterter Strahlung mit 120 kV führen praktisch nur noch die Dosisunterschiede zu einer unterschiedlichen Anregung der Folien bzw. Schwärzung des Filmes, d.h. es gibt hier im Gegensatz zur Weichstrahltechnik kein eigentliches "Energierelief".

Es erscheint durchaus denkbar, daß der andere Charakter der Hartstrahlaufnahme in erheblichem Maße dadurch bedingt wird, daß die Qualitätsunterschiede der Austrittsstrahlung gegenüber den Dosis-

unterschieden zurücktreten. Eine absolute Sicherung dieser Annahme ist allerdings allein aus den dosimetrischen Untersuchungen an der Austrittsstrahlung nicht möglich. Außerdem ist noch zu bemerken, daß auch bereits bei schwach gefilterter Strahlung von 120 kV in der Praxis ein ausgesprochener Hartstrahleffekt auftritt, während die Halbwertschichtkurve in Abhängigkeit von der Objektdicke bei 120 kV immerhin noch wesentlich steiler als bei 150 kV verläuft. Wenn man allerdings die Beeinflussung der Dosisdifferenzen hinter dem Objekt durch den Streuzusatz bedenkt, so ist es wahrscheinlich, daß bei Berücksichtigung der ungerichteten Streustrahlung auch die Abflachung der Halbwertschichtkurven bereits bei niedrigeren Spannungen als in Abb. 5 erfolgt. Vielleicht führt die Filterung der Austrittsstrahlung durch die Kassettenvorderwand auch noch zu einem weiteren Ausgleich der Halbwertschichtunterschiede, ähnlich wie das bei einer stärkeren Vorfilterung der Primärstrahlung von 120 kV der Fall ist. Auf jeden Fall kann man annehmen, daß in den Verstärkerfolien im gesamten Bereich der Hartstrahltechnik die Qualitätsunterschiede der die Folien treffenden Strahlung gegenüber den Dosisunterschieden in der beschriebenen Art zurücktreten. Diese Überlegungen aufgrund der Dosis- und Qualitätsmessungen wären noch durch direkte Messungen an Kassette, Folien und Filmen zu ergänzen. Der Aufwand für derartige Messungen ist jedoch so groß, daß er im Rahmen einer klinischen Röntgenabteilung nicht tragbar ist.

Die in Abb. 7 - 15 dargestellten Qualitätsmessungen des Primärstrahlenanteils der Austrittsstrahlung zeigen, daß das Verhalten der Halbwertschichtkurven in Abhängigkeit von der Objektdicke bei verschiedenen Aufnahmespannungen in erster Li-

nie durch den Streustrahlenanteil an der Austrittsstrahlung bedingt sein muß, da auch bei den härtesten der benutzten Primärstrahlenqualitäten (Abb. 11 und 15) noch ein erhebliches Ansteigen der Halbwertschicht des Primärstrahlenanteils an der Austrittsstrahlung mit der Objektdicke festzustellen ist. Hieraus kann man entnehmen, daß eine Verringerung oder gar Beseitigung der Streustrahlung den Bildcharakter der Hartstrahlaufnahmen voraussichtlich verändern wird. Diese Vermutung wird durch praktische Untersuchungen von F r i k und B u c h h e i m gestützt, die zeigen konnten, daß eine Verringerung des Streustrahlenanteils an der bildwirksamen Strahlung auf weniger als 30 % den "Hartstrahlcharakter" von Hartstrahlungsaufnahmen weitgehend beseitigt.

Wenn aus Abb. 17 und 18 hervorgeht, daß die Halbwertschicht der Streustrahlung auch bis 200 kV bei Röhreneigenfilterung wahrscheinlich noch ansteigt, so spricht diese Feststellung nicht gegen die aus den Ergebnissen der Abb. 5 und 6 gezogenen Folgerungen. Das zunächst eigentümlich anmutende Verhalten, daß sich aus der Addition zweier ansteigender Kurven eine Horizontale ergibt, wird ohne weiteres verständlich, wenn man den wechselnden Anteil der Streustrahlung an der bildgebenden Strahlung gemäß Abb. 16 bedenkt. Die der Abb. 17 und 18 zugrundeliegenden Rechenexperimente wurden vor allem deshalb ausgeführt, um eine weitere Grundlage für die Beurteilung der Qualität der bildwirksamen Streustrahlen zu gewinnen, da die direkte Messung der reinen Streustrahlung auf erhebliche Schwierigkeiten stößt (B ö c k l e i n). Unsere Rechnungen geben einen Anhalt für die Qualität der g e s a m t e n Streustrahlung. Dabei beeinflusst der ungerichtete Anteil der Streustrahlung die errechneten Werte für die Halbwertschicht wahrschein-

lich mehr als der gerichtete, da die härteren Komponenten der gerichteten Streustrahlung bei der von uns benutzten Methode zur Messung des Primärstrahlenanteiles nicht völlig eliminiert werden können. Immerhin zeigen die letzten beiden Abb., daß die alleinige Betrachtung der Streustrahlenqualität nicht ausreicht, um das Problem der Änderung des Bildcharakters bei Hartstrahlaufnahmen zu lösen, während die Qualität der austretenden Gesamtstrahlung wie oben geschildert, wesentliche Hinweise liefert.

V. Zusammenfassung :

=====

Hinter verschieden dicken homogenen und gewebsäquivalenten Objekten wurden Messungen der Dosisleistung und Halbwertschicht der Austrittsstrahlung bei allen für die Röntgendiagnostik zur Zeit praktisch interessierenden Strahlenqualitäten vorgenommen. Für die Praxis ergibt sich, daß bei gleichzeitiger Betrachtung von Durchdringungsfähigkeit der Strahlung und der Belichtungszeit eine schwächer gefilterte Strahlung mit höherer Erzeugerspannung in der Regel zweckmäßiger als eine stärker homogenisierte Strahlung mit niedrigerer Spannung ist. Diese Feststellung gilt nur für Aufnahmen und nicht für die Durchleuchtung. Bei Objektstärken bis 20 cm Wasser und Spannungen über 100 kV führt eine zusätzliche Filterung, die das Verhältnis Eintrittsdosis / Austrittsdosis spürbar verbessert, immer auch zu einer nicht zu vernachlässigenden Verlängerung der Belichtungszeit. Bei Spannungen bis 100 kV scheint dagegen für Objekte mit einer Schwächung, die mehr als 10 cm Wasser entspricht, eine Zusatzfilterung bis 4 mm Al-Gleichwert Gesamtfilterung zweckmäßig.

Die Halbwertschichtmessungen zeigen, daß der Begriff "Strahlungsrelief" revisionsbedürftig ist: man muß ihn in die Begriffe "Dosisrelief" und "Energierelief" bzw. "Qualitätsrelief" aufgliedern. Das Energierelief flacht bei hohen Aufnahmespannungen weitgehend ab, sodaß hier die Schwärzungskontraste im Gegensatz zu den Weichstrahlungsaufnahmen nur noch von dem Dosisrelief abhängen. In diesem Verhalten kann, ergänzend zu der Änderung der Durchdringungsfähigkeit bei hohen Spannungen, eine weitere Ursache für den anderen Bildcharakter von Hartstrahlungsaufnahmen gesehen werden.

Die aus der Beobachtung von Patientenaufnahmen stammende Feststellung, daß eine zu starke Verringerung des Streustrahlenanteils an der bildgebenden Strahlung den "Hartstrahlcharakter" von Lungenaufnahmen verschwinden läßt, findet in den Ergebnissen von Qualitätsmessungen der verschiedenen Anteile der Austrittsstrahlung eine experimentelle Bestätigung und Deutung.

Literatur.

=====

- B a l z , G. , R. B i r k n e r und F. W a c h s -
m a n n : Strahlentherapie 97 (1955): 382 -
- B ö c k l e i n , J. : Diss. Erlangen, in Vorbereitg.
- B u c h h e i m , C.E. : Diss. Erlangen 1952 - C e n ,
M. und W. F r i k : Fortschr. Röntgenstr. 88 (1958):
465 - C o u r t - B r o w n , W.M. : Bull. Schweiz.
Akad. med. Wiss. 14 (1958): 580 - E g g e r t , J. :
Einführung in die Röntgenphotographie 6. Aufl.
Leipzig 1936 - F e n n e r , E. : Fortschr. Röntgenstr.
80 (1954) : 649 - F r i k , W. , C.E. B u c h h e i m
und R. H e s s e : Röntgenblätter 8 (1955) : 136
- F r i k W. , H. G a j e w s k i , F. W a c h s -
m a n n und C.E. B u c h h e i m : Fortschr.
Röntgenstr. 83 (1955) : 331 - F r i k , W. und
C.E. B u c h h e i m : Beitr. Klin. Tuberk 117 (1957):
138 - F r i k W. : Detaillierkennbarkeit und Dosis
bei der Röntgendurchleuchtung. Heidelberg 1958
- G a j e w s k i , H. : Fortschr. Röntgenstr. 80
(1954) : 643 - G a j e w s k i , H. : Röntgen- u. Lab.-
Praxis 7 (1954): 267 - J a u b e r t d e B e a u -
j e u A. : Bull. Soc. Radiol. Franc. (1926): 46
- K e a n e , S. B.E. und G. S p i e g l e r : Brit.
J. Radiol. 24 (1951): 198 - K l o t z E. und W.
S e e l e n t a g : Fortschr. Röntgenstr. 89 (1958):
92 - L i e c h t i A.u. W. M i n d e r : Röntgen-
physik, 2. Aufl. Wien 1955 - M a t t s o n , O. : Acta
radiol. (Stockh.) Supplementum 120 (1955) und 46
(1956) : 621 - M e i l e r , J. Fortschr. Röntgenstr.
82 (1955): 107 - O e s e r , H. , H. G. M e h l und
P. S c h a e f e r : Fortschr. Röntgenstr. 88 (1958):
703 - S c h a a l , A. : Fortschr. Röntgenstr. 88
(1958): 475 - S c h a a l , A. : SRW-Nachrichten Heft
7 Erlangen 1958 - S c h o e n , H. : Med. Röntgen-
technik, 2. Aufl., Stuttgart 1958 - S p i e g l e r ,
G. Fortschr. Röntgenstr.: 80 (1954): 754 -

S p i e g l e r, G.: Fortschr. Röntgenstr. 83
(1955): 650 - S p i e g l e r, G., Physikal. Grundl.
der Röntgendiagnostik, Stuttgart 1957 - W a c h s-
m a n n, F.: Strahlentherapie 83 (1950): 41 -
W a c h s m a n n, F., K. B r e u e r und C. E.
B u c h h e i m: Fortschr. Röntgenstr. 76 (1952):
147 - W i l h e l m G., R. K r a u s und H.
M e r g l e r: Fortschr. Röntgenstr. 89 (1958): 602.

Lebenslauf

=====

Als Sohn des Landwirtes Ioannis S o u l t o g i a n n i s und seiner Ehefrau Maria geb. Kilkis-Griechenland, wurde ich am 9. August 1926 in Waphiochorion-Kilkis-Griechenland geboren.

Im Herbst 1931 kam ich in die Grundschule und im Herbst 1937 in das Gymnasium. Nach meinem Abitur 1944 studierte ich Medizin an der Universität Thessaloniki. Während meines Studiums war ich von 1949 bis 1952 eingezogen. Am 30 Juni 1955 bestand ich die Medizinische Prüfung an der Universität Thessaloniki. Vom 8.7.1955 bis 7.7.1956 war ich als Assistent in der Diagn. Röntgenabteilung des Krankenhauses der Gemeinde Thessaloniki. Vom 8.7.1956 bis 8.7.1957 war ich als Assistent in der Therapie der Röntgenabteilung am Volkskrankenhaus der Stadt Thessaloniki. Vom 1.8.1957 bis 31.10.1957 war ich als Gastarzt an der Sonderabteilung für Strahlentherapie des Krankenhauses Lainz-Wien und vom 4.11.1957 bis 5.5.1958 als Gastarzt im Zentralröntgeninstitut des Allgemeinen Krankenhauses Wien. Seit 9. Mai 1958 bin ich als Gastarzt an der Diagn. Röntgenabteilung der Medizinischen Universitätsklinik Erlangen tätig.

Am 18.10.58 habe ich vom Ministerium von Nordgriechenland den Titel "Facharzt für Röntgenologie und Radiologie" bekommen".

Herrn Privatdozent Dr. W. F r i k, Leiter der
 Diagnostischen Röntgenabteilung der Medizinischen
 Universitätsklinik Erlangen möchte ich für die
 Überlassung des Themas und für die wertvollen Anregungen bei der Ausführung dieser Arbeit meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

